

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 2002年11月29日  
Date of Application:

出願番号 特願2002-349205  
Application Number:  
[ST. 10/C]: [JP 2002-349205]

出願人 信越半導体株式会社  
Applicant(s): 株式会社ナノテコ

2003年 9月16日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



出証番号 出証特2003-3076044



【書類名】 特許願

【整理番号】 AX0237952S

【提出日】 平成14年11月29日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 H01L 33/00

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越半導体株式会社 磯部工場内

【氏名】 山田 雅人

【発明者】

【住所又は居所】 群馬県安中市磯部二丁目13番1号 信越半導体株式会社 半導体磯部研究所内

【氏名】 能登 宣彦

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市榎形6-5-2 フローラルガーデン向ヶ丘遊園308

【氏名】 野崎 眞次

【発明者】

【住所又は居所】 東京都大田区久が原4-5-7

【氏名】 内田 和男

【発明者】

【住所又は居所】 埼玉県鶴ヶ島市鶴が丘27-16-606

【氏名】 森崎 弘

【特許出願人】

【持分】 001/002

【識別番号】 000190149

【氏名又は名称】 信越半導体株式会社

**【特許出願人】**

**【持分】** 001/002  
**【識別番号】** 501045021  
**【氏名又は名称】** 株式会社ナノテコ

**【代理人】**

**【識別番号】** 100095751  
**【弁理士】**  
**【氏名又は名称】** 菅原 正倫  
**【電話番号】** 052-212-1301

**【先の出願に基づく優先権主張】**

**【出願番号】** 特願2002-308940  
**【出願日】** 平成14年10月23日

**【手数料の表示】**

**【予納台帳番号】** 003388  
**【納付金額】** 21,000円

**【提出物件の目録】**

**【物件名】** 明細書 1  
**【物件名】** 図面 1  
**【物件名】** 要約書 1  
**【包括委任状番号】** 9901665  
**【包括委任状番号】** 0201235

**【プルーフの要否】** 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 発光素子及びその製造方法

【特許請求の範囲】

【請求項1】 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

前記酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、前記活性層と前記電極接合層との間に位置する前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、かつ、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満とされたことを特徴とする発光素子。

【請求項2】 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、該第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とを有する請求項1記載の発光素子。

【請求項3】 前記クッション層の厚さが $0.1 \mu\text{m}$ 以上 $5 \mu\text{m}$ 以下とされたことを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項4】 前記ボンディング側半導体層は、厚さが $0.6 \mu\text{m}$ 以上 $10 \mu\text{m}$ 未満の前記第二導電型クラッド層よりなることを特徴とする請求項1又は2に記載の発光素子。

【請求項5】 前記第一導電型クラッド層が前記第二導電型クラッド層よりも薄く形成されたことを特徴とする請求項4記載の発光素子。

【請求項6】 前記酸化物透明電極層はITO電極層であり、前記電極接合層は、前記ITO電極層との接合界面において $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq$

1)であることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項7】 前記電極接合層の厚さ方向におけるIn濃度分布が、前記ITO電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとされていることを特徴とする請求項1記載の発光素子。

【請求項8】 前記電極接合層を構成する半導体として、これと接する前記ボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用し、かつ、前記電極接合層中のドーパント濃度を前記ボンディング側半導体層部分よりも高く設定したことを特徴とする請求項1、6及び7のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項9】 前記電極接合層は、ドーパント濃度が前記ボンディング側半導体層と同じか、またはそれよりも低いことを特徴とする請求項1、6及び7のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項10】 前記電極接合層は、前記ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さいことを特徴とする請求項1、6、7、8及び9のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項11】 前記第一領域に前記電極接合層が形成されていないことを特徴とする請求項10記載の発光素子。

【請求項12】 前記酸化物透明電極層がITO電極層であり、  
前記ボンディング側半導体層は、少なくとも前記電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と前記活性層との間に位置する第二層とを有してなり、前記第二層の少なくとも前記第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、前記第一層が前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする請求項1ないし11のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項13】 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆うITO電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

前記ITO電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

前記ITO電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該ITO電極層に接するように配置されてなり、

さらに、前記活性層と前記電極接合層との間に位置する前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、厚さが $0.6\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 未満とされ、かつ、少なくとも前記電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と前記活性層との間に位置する第二層とを有してなり、前記第二層の少なくとも前記第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、前記第一層が前記電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率が前記リン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする発光素子。

【請求項14】 前記リンブロック層はリンを含有しない化合物半導体よりなることを特徴とする請求項12又は13に記載の発光素子。

【請求項15】 前記リンブロック層がAlGaAsよりなることを特徴とする請求項14記載の発光素子。

【請求項16】 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、前記第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体により前記リン含有化合物半導体層として構成された補助化合物半導体層と、該補助化合物半導体層と前記電極接合層との間に配置された前記リンブロック層とからなることを特徴とする請求項12ないし15のいずれか1項に記載の発光素子。

【請求項17】 前記補助化合物半導体層がGaPよりなることを特徴とする請求項14記載の発光素子。

【請求項18】 前記ボンディング側半導体層の前記電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し前記電極接合層と反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とし、該中間層が前記リンブロック層とされ

てなることを特徴とする請求項 16 又は 17 に記載の発光素子。

【請求項 19】 前記中間層が  $\text{AlGaAs}$  よりなる請求項 18 記載の発光素子。

【請求項 20】 前記ボンディング側半導体層は、前記第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の前記酸化物透明電極層側に接して配置され、前記第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体により前記リンブロック層として構成された補助化合物半導体層とからなり、該補助化合物半導体層に前記電極接合層が接して配置されてなることを特徴とする請求項 12 ないし 15 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 21】 前記補助化合物半導体層が  $\text{AlGaAs}$  よりなる請求項 20 記載の発光素子。

【請求項 22】 前記補助化合物半導体層が、前記第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層であることを特徴とする請求項 16 ないし 21 のいずれか 1 項に記載の発光素子。

【請求項 23】 前記ボンディング側半導体層は、厚さが  $0.6\ \mu\text{m}$  以上  $10\ \mu\text{m}$  未満の前記第二導電型クラッド層を有し、該第二導電型クラッド層が前記リン含有化合物半導体層として構成され、該第二導電型クラッド層と接する形で前記リンブロック層が配置されてなることを特徴とする請求項 12 ないし 15 のいずれか 1 項に記載ことを特徴とする発光素子。

【請求項 24】 前記リンブロック層は、前記第二導電型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とされてなることを特徴とする請求項 23 に記載の発光素子。

【請求項 25】 前記第二導電型クラッド層が  $\text{AlGaInP}$  よりなり、前記中間層が  $\text{AlGaAs}$  よりなることを特徴とする請求項 24 に記載の発光素子。

【請求項 26】 第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、前記第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して前記発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法におい

て、

前記発光層部の前記活性層上に、前記第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が  $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  未満となり、かつ、厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  以上  $10 \mu\text{m}$  未満となるように形成する工程と、

前記ボンディング側半導体層上に、前記酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層を形成する工程と、

前記酸化物透明電極層を、前記電極接合層と接し、かつ前記第二導電型クラッド層の主表面を覆うように形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、

該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、

をこの順序にて行なうことを特徴とする発光素子の製造方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

この発明は発光素子及び発光素子の製造方法に関する。

##### 【0002】

##### 【従来の技術】

##### 【特許文献1】

特開平1-225178号公報

##### 【特許文献2】

米国特許公報第5789768号

##### 【0003】

$(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  混晶（ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ （以下、 $\text{AlGaInP}$  混晶、あるいは単に  $\text{AlGaInP}$  と記載する）により発光層部が形成された発光素子は、薄い  $\text{AlGaInP}$  活性層を、それよりもバンドギャップの大きい  $n$  型  $\text{AlGaInP}$  クラッド層と  $p$  型  $\text{AlGaInP}$  クラッド層とによりサンドイッチ状に挟んだダブルヘテロ構造を採用することにより、高輝度の素子を実現できる。また、近年では、 $\text{In}_x\text{Ga}_y\text{Al}_{1-x-y}$



N (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ,  $x + y \leq 1$ ) を用いて同様のダブルヘテロ構造を形成した青色発光素子も実用化されている。

#### 【0004】

例えば、AlGaInP 発光素子を例に取れば、n 型 GaAs 基板上にヘテロエピタキシャル成長させる形にて、n 型 GaAs バッファ層、n 型 AlGaInP クラッド層、AlGaInP 活性層、p 型 AlGaInP クラッド層をこの順序にて積層し、ダブルヘテロ構造をなす発光層部を形成する。発光層部への通電は、素子表面に形成された金属電極を介して行なわれる。ここで、金属電極は遮光体として作用するため、例えば発光層部主表面の中央部のみを覆う形で形成され、その周囲の電極非形成領域から光を取り出すようにする。

#### 【0005】

この場合、金属電極の面積をなるべく小さくしたほうが、電極の周囲に形成される光漏出領域の面積を大きくできるので、光取出し効率を向上させる観点において有利である。従来、電極形状の工夫により、素子内に効果的に電流を拡げて光取出量を増加させる試みがなされているが、この場合も電極面積の増大はいずれにしろ避けがたく、光漏出面積の減少により却って光取出量が制限されるジレンマに陥っている。また、クラッド層のドーパントのキャリア濃度ひいては導電率は、活性層内でのキャリアの発光再結合を最適化するために多少低めに抑えられており、面内方向には電流が広がりにくい傾向がある。これは、電極被覆領域に電流密度が集中し、光漏出領域における実質的な光取出量が低下してしまうことにつながる。そこで、クラッド層と電極との間に、キャリア濃度（ドーパント濃度）を高めた低抵抗率の電流拡散層を形成する方法が、特許文献 2 にて採用されている。電流拡散層は、有機金属気相成長法 (MetalOrganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE 法) や、液相エピタキシャル成長法 (Liquid Phase Epitaxy: LPE 法) により形成される。

#### 【0006】

また、化合物半導体よりなる電流拡散層に代えて、あるいは電流拡散層と共に、高導電率の酸化物透明電極層 (例えば、ITO (Indium Tin Oxide) 透明電極層) を、発光層部表面を覆うように形成する提案が、例えば特許文献 1 あるいは

特許文献 2 に開示されている。

#### 【0007】

##### 【発明が解決しようとする課題】

ところで、上記のような発光素子においては、素子最表面に金属製のボンディングパッドを配置し、そのボンディングパッドに接合された電極ワイヤを介して発光層部への通電がなされる。特許文献 1 に開示された酸化物透明電極層を用いる発光素子の構成では、ごく薄い電極接合層を介して酸化物透明電極層が発光層部に接するように形成される。酸化物透明電極層は導電率が金属並に高いため、厚さが小さくとも十分な電流拡散効果が得られる。しかし、電極ワイヤをボンディングパッドへ接合しようとする、接合による損傷の影響が発光層部に及びやすく、不良を生じやすい欠点がある。

#### 【0008】

他方、化合物半導体よりなる電流拡散層を用いる構成では、電流拡散層は、面内方向に電流を十分に拡げるために、層厚をある程度大きく設定することが必要である。電流拡散層の厚さが大きくなることで、ワイヤを接合する際の損傷の影響はある程度吸収できるため、不良発生の問題は生じにくい。しかし、このような電流拡散層は導電率を高めるために、ドーパント濃度を高める必要があるが、これにより次のような問題を生じやすくなる場合がある。

#### 【0009】

発光素子は、通電を継続するに伴い発光輝度が次第に低下する。例えば、一定電流により素子への通電を開始した直後に測定した発光輝度を初期輝度とし、積算通電時間の経過に従い減少する発光輝度を追跡したとき、発光輝度が予め定められた限界輝度に到達する時間、あるいは評価通電時間を一定値（例えば 1000 時間）に固定したときの、初期輝度に対する評価通電時間経過後の輝度の比（以下、これを素子ライフと称する）は、素子寿命を評価するための一定の尺度となりえる。

#### 【0010】

電流拡散層を有する発光素子は、通電初期段階においては、クラッド層内のドーパント濃度は適正な値を保持されているが、通電を継続すると、電流拡散層内

の高濃度のドーパント原子の、クラッド層および活性層内への拡散が、電氣的な要因により促される。その過剰なドーパント濃度およびドーパント原子の拡散促進に伴って格子欠陥等が形成されると、活性層内またはp型クラッド層と活性層の界面には、非発光再結合中心となる電氣的な準位が形成される。その結果、電流拡散層内のドーパント濃度が過度に高くなっている場合には、発光再結合確率が下がり、強度低下を引き起こす。すなわち、発光輝度の経時的な劣化が進みやすくなり、素子ライフが低下することにつながる。

#### 【0011】

また、MOVPE法やLPE法により成長しようとする、成長温度が高いために、ドーパント濃度を本来低く留めたいクラッド層側にドーパントが拡散しやすくなる問題もある。さらに、厚い電流拡散層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要になることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすくなる。

#### 【0012】

さらに、特許文献1あるいは特許文献2に開示されている酸化物透明電極層と電流拡散層とを併用する場合、酸化物透明電極層が特にITO電極層として形成されていると、電流拡散層を形成する化合物半導体の種類によっては、形成したITO電極層と電流拡散層との密着力が極端に低下することがある。このような状態になると、ITO電極層を形成済みの素子ウェーハ上に、電極形成等のフォトリソグラフィ工程を実施したり、あるいはウェーハを素子チップにダイシングしたりする際に、ITO電極層の剥離が生じやすくなり、製品歩留まりの低下に直結する問題がある。

#### 【0013】

本発明の課題の第一は、酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ接合する際の損傷の影響が発光層部に及ぶにくい発光素子と、その製造方法とを提供することにある。また、課題の第二は、酸化物透明電極層としてITO電極層を形成する場合に、その密着力を大幅に向上でき、ひいてはITO電極層の剥離などの不具合を生じにくい発光素子を提供することにある。

## 【0014】

## 【課題を解決するための手段及び作用・効果】

上記の課題を解決するために、本発明の発光素子の第一は、

第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、活性層と電極接合層との間に位置する第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、ドーパント濃度が  $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  未満であり、かつ、厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  以上  $10 \mu\text{m}$  未満とされたことを特徴とする。

## 【0015】

また、本発明の発光素子の製造方法は、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆う酸化物透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子の製造方法において、

発光層部の前記活性層上に、第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が  $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  未満となり、かつ、厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  以上  $10 \mu\text{m}$  未満となるように形成する工程と、

ボンディング側半導体層上に、酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層を形成する工程と、

酸化物透明電極層を、該電極接合層と接し、かつ第二導電型クラッド層の主表面を覆うように形成する工程と、

該酸化物透明電極層上に金属製のボンディングパッドを形成する工程と、  
該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤを接合する工程と、  
をこの順序にて行なうことを特徴とする。

#### 【0016】

上記本発明によると、発光層部の活性層上に、第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層であるボンディング側半導体層を、ドーパント濃度が  $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  未満となり、かつ、厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  以上  $10 \mu\text{m}$  未満となるように形成し、該ボンディング側半導体層上に酸化物透明電極層を形成し、該酸化物透明電極層上のボンディングパッドに電極ワイヤを接合するようにした。ITO等の酸化物透明電極層は、ボンディング側半導体層と直接接合しようとしたとき、良好なオーミック接合が必ずしも形成されず、接触抵抗に基づく直列抵抗増大により発光効率が低下することがある。そこで、ボンディング側半導体層と酸化物透明電極層との間に、該酸化物透明電極層の接合抵抗を減ずるための電極接合層を、該酸化物透明電極層に接するように配置する。そして、ボンディング側半導体層が上記のごとく形成されているので、接合時に損傷領域が仮に生じても、該損傷領域の影響はボンディング側半導体層の表層部に留まり、活性層にその影響が及びにくくなり、本発明の課題の第一が解決される。

#### 【0017】

例えばワイヤの接合を、超音波溶接や、これにさらに熱を付加するサーモソニックボンディングにより行なう場合、ボンディングパッド直下の化合物半導体層には、超音波や加熱（さらには加圧）による衝撃応力が集中し、転位などの結晶欠陥が損傷として導入される。その損傷領域が活性層部に及んだ場合、具体的には次のような不具合を招く。

①発光輝度の直接的な低下。結晶欠陥による非発光遷移過程の増加が原因として考えられる。

②素子ライフの低下。転位の形成された発光層に通電を継続すると、転位に電流が集中して転位の増殖が起こりやすくなり、発光輝度の経時的な劣化を引き起こす。

しかしながら、本発明の採用により、上記の不具合を効果的に回避することが

できる。

#### 【0018】

他方、本発明の発光素子においては、第二導電型クラッド層を含むボンディング側半導体層のドーパント濃度を、上記のように比較的低く設定してある。その結果、第二導電型クラッド層内のドーパント原子の、電気的な拡散促進による濃度上昇が生じにくくなり、活性層に対する損傷領域の影響が軽減されていることとも相俟って、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。

#### 【0019】

第二導電型クラッド層を含むボンディング側半導体層は、ドーパント濃度が比較的低いので面内方向の導電率は小さいが、シート抵抗の小さい酸化物透明電極層をその上に形成しておくことで、面内方向の電流拡散効果は十分に達成することができる。従って、ボンディング側半導体層は、層厚方向の導電性さえ十分に確保しておけば、結果として発光層部への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

#### 【0020】

ボンディング側半導体層の厚さが $0.6\mu\text{m}$ 未満になると、接合による損傷の影響が活性層に及びやすくなり、発光強度や素子ライフの低下につながる。他方、ボンディング側半導体層のドーパント濃度は比較的低く留められているので、その厚さが $10\mu\text{m}$ 以上になると、素子の直列抵抗が過度に増大する不具合につながる。

#### 【0021】

ボンディング側半導体層のドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 未満では素子の直列抵抗が増大し、素子の順方向電圧の上昇を招く。また、 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上になると、活性層内でのキャリアの発光再結合が進みにくくなり、発光効率の低下を招く。

#### 【0022】

発光素子においては、発光再結合が活性層のp型クラッド層との界面付近で生じやすいことを考慮すれば、光取出面側に位置するボンディング側半導体層はp型層として構成することが望ましい。この場合、多数キャリア源となるp型ドー

パントとしては、III-V族化合物半導体を用いる場合、ZnやMgを使用できる。III-V族化合物半導体よりなる発光層部としては、 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ；以下、「AlGaInP」とも記載する）又は $In_xGa_yAl_{1-x-y}N$ （ $0 \leq x \leq 1$ ， $0 \leq y \leq 1$ ， $x+y \leq 1$ ；以下、「InGaAlN」とも記載する）により、第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有するものを例示できる。

#### 【0023】

ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、該第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とすることができる。このようなクッション層を配置することにより、接合時に損傷領域が仮に生じても、その大半はクッション層内部に留まり、活性層はもちろん、第二導電型クラッド層にもその影響が及びにくくなり、発光強度や素子ライフの劣化をより効果的に抑制できる。

#### 【0024】

また、クッション層は、これと接する第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度を有しているので、クッション層から第二導電型クラッド層内へのドーパント原子の流入が抑制され、素子ライフの大幅な向上を図ることができる。また、成長時にドーパントが第二導電型クラッド層に逆拡散する不具合も生じにくい。

#### 【0025】

クッション層は、発光層部からの光をなるべく吸収しない材質にて構成することが、光取出し効率を向上させる上で望ましい。そのためには、クッション層をなす化合物半導体として、発光層部の活性層よりもバンドギャップの大きいものを使用することが有効である。AlGaInPにて発光層部を構成する場合、クッション層の具体的な材質として、AlGaAs、GaP、GaAsP、AlGaAsPを例示できる。また、クッション層を薄く形成すると、光吸収抑制の観点において有利に作用する。クッション層の厚さは、具体的には $0.1 \mu m$ 以上

5  $\mu\text{m}$ 以下に調整することが望ましい。クッション層の厚さが0.1  $\mu\text{m}$ 未満では、ボンディング側半導体層の全厚が不足しやすくなり、電極ワイヤ接合時の影響が発光層部へ及びやすくなる。また、クッション層の厚さが5  $\mu\text{m}$ を超えると、ドーパント濃度が低く抑えられているために層厚方向の抵抗率が増し、素子の直列抵抗増大による発光効率低下につながる。また、厚いクッション層を成長させるには長時間を要し、原料も多く必要になることから、製造能率の低下とコストの増大を招きやすい。クッション層の厚さは0.5  $\mu\text{m}$ 以上3  $\mu\text{m}$ 以下とすることがより望ましい。

#### 【0026】

一方、ボンディング側半導体層は、厚さが0.6  $\mu\text{m}$ 以上10  $\mu\text{m}$ 未満の第二導電型クラッド層よりなるものとして構成してもよい。つまり、第二導電型クラッド層を必要十分な厚さとすることで、損傷領域が活性層に及ぶことが防止可能である。また、同一材質のクラッド層の成長厚さを増大させるだけであるから、製造も容易である。この場合、第一導電型クラッド層は、ワイヤ接合に伴う損傷の影響を考慮する必要がないので、第二導電型クラッド層よりも薄く形成することが、製造コスト削減の観点において望ましい。

#### 【0027】

酸化物透明電極層は、例えばITOにて構成できる。ITOは、酸化スズをドープした酸化インジウム膜であり、酸化スズの含有量を1～9質量%とすることで、電極層の抵抗率を $5 \times 10^{-4} \Omega \cdot \text{cm}$ 以下の十分低い値とすることができる。なお、ITO電極層以外では、ZnO電極層が高導電率であり、本発明に採用可能である。また、酸化アンチモンをドープした酸化スズ（いわゆるネサ）、 $\text{Cd}_2\text{SnO}_4$ 、 $\text{Zn}_2\text{SnO}_4$ 、 $\text{ZnSnO}_3$ 、 $\text{MgIn}_2\text{O}_4$ 、酸化イットリウム（Y）をドープした $\text{CdSb}_2\text{O}_6$ 、酸化スズをドープした $\text{GaInO}_3$ なども酸化物透明電極層の材質として使用することができる。これらの酸化物透明電極は可視光に対して良好な透過性を有し（つまり、透明であり）、発光層部への電圧印加用電極として用いる場合、光の取出しを妨げない利点がある。また、該酸化物透明電極層上に形成されるボンディングパッドを介して素子駆動用の電圧を印加したとき、電流を面内に広げて発光を均一化し高効率化する役割も担



う。これらの酸化物透明電極は、公知の気相成膜法、例えば化学蒸着法 (chemical vapor deposition: CVD) あるいはスパッタリングや真空蒸着などの物理蒸着法 (physical vapor deposition: PVD)、あるいは分子線エピタキシャル成長法 (molecular beam epitaxy: MBE) にて形成することができる。例えば、ITO層やZnO電極層は高周波スパッタリング又は真空蒸着により製造でき、また、ネサ膜はCVD法により製造できる。また、これら気相成長法に代えて、ゾルーゲル法など他の方法を用いて形成してもよい。

#### 【0028】

電極接合層は、具体的には、Alを含有せず、かつバンドギャップエネルギーが比較的小さい（例えば1.42 eV未満）化合物半導体からなるものを好適に採用することができる。このような電極接合層を用いることにより、良好なオーミックコンタクトが得られ、また、Al成分酸化による抵抗増加も生じにくい。

#### 【0029】

電極接合層は、発光波長に対応するエネルギーよりもバンドギャップエネルギーが小さく設定される場合、発光層部からの光を吸収する作用を有するので、光取出し効率向上のため、その厚さをなるべく小さくすることが望ましく、例えば3～30 nm程度に設定することが望ましい。厚さが30 nmを超えると光吸収の影響が大きくなり、3 nm未満では、電極接合層をなす化合物半導体のバルクとしての結晶構造を維持が困難となり、接合抵抗低減効果が十分に得られなくなる。

#### 【0030】

酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、例えばInGaAs層やGaAs層を使用することができる。該電極接合層は、（少なくとも）ITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) となっていることにより、接触抵抗低減効果を特に高めることができる。 $(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_y\text{In}_{1-y}\text{P}$  (ただし、 $0 \leq x \leq 1$ ,  $0 \leq y \leq 1$ ) により発光層を形成する場合、GaAs層をITO電極層と接するように形成し、その後、熱処理を行なうことにより、ITO電極層からGaAs層にInを拡散させて、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層となすことができる。この場合、電極接合層

の厚さ方向における  $\text{In}$  濃度分布は、ITO 電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなる。また、電極接合層は、ITO 電極層との接合界面において、必ず  $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  よりなるものとなる。

#### 【0031】

電極接合層は  $\text{InGaAs}$  を直接エピタキシャル成長する方法を採用してもよいのであるが、上記の方法を採用すると、次のような利点がある。すなわち、ボンディング側半導体層のこれと接する部分が、 $\text{AlGaAs}$ 、 $\text{GaP}$  あるいは  $\text{AlGaInP}$  にて構成されている場合、 $\text{GaAs}$  層はこれらの化合物半導体と格子整合が極めて容易であり、 $\text{InGaAs}$  を直接エピタキシャル成長する場合と比較して、均質で連続性のよい膜を形成できる。

#### 【0032】

そして、その  $\text{GaAs}$  層上に ITO 電極層を形成した後、熱処理することにより、ITO 電極層から  $\text{GaAs}$  層に  $\text{In}$  を拡散させて電極接合層とする。このように熱処理して得られる  $\text{In}$  を含有した  $\text{GaAs}$  よりなる電極接合層は、 $\text{In}$  含有量が過剰とならず、ボンディング側半導体層との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化を効果的に防止することができる。

#### 【0033】

電極接合層の厚さ方向における  $\text{In}$  濃度分布は、図 9 の①に示すように、ITO 電極層から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなるようにする（つまり、発光層部側にて  $\text{In}$  濃度が小さくなるように、 $\text{In}$  濃度分布に傾斜をつける）ことが望ましい。こうした構造は、熱処理により、ITO 側から電極接合層側へ  $\text{In}$  を拡散させることにより形成される。発光層部を  $\text{AlGaInP}$  により形成する場合、電極接合層の  $\text{In}$  濃度分布が該発光層部側で小さくなっていれば、発光層部との格子定数差が接近し、発光層部と電極接合層との格子整合性をより高めることができる。熱処理温度が過度に高くなったり、あるいは熱処理時間が長大化すると、ITO 電極層からの  $\text{In}$  拡散が過度に進行して、図 9 の③に示すように、電極接合層内の  $\text{In}$  濃度分布が厚さ方向にほぼ一定の高い値を示すようになり、上記の効果は得られなくなる（なお、熱処理温度が過度に低くなったり、あるいは熱処理時間が過度に短時間化すると、図 9 の②に示すように、

電極接合層内の  $I_n$  濃度が不足することにつながる)。

#### 【0034】

この場合、図9において、電極接合層の、ITO電極層との境界位置における  $I_n$  濃度を  $C_A$  とし、これと反対側の境界近傍における  $I_n$  濃度を  $C_B$  としたとき、 $C_B/C_A$  が0.8以下となるように調整することが望ましく、該形態の  $I_n$  濃度分布が得られるように、前述の熱処理を行なうことが望ましい。 $C_B/C_A$  が0.8を超えると、 $I_n$  濃度分布傾斜による発光層部との格子整合性改善効果が十分に得られなくなる。なお、電極接合層の厚さ方向の組成分布 ( $I_n$  あるいは  $Ga$  濃度分布) は、層を厚さ方向に徐々にエッチングしながら、二次イオン質量分析 (Secondary Ion Mass Spectroscopy: SIMS)、オージェ電子分光分析 (Auger Electron Spectroscopy)、X線光電子分光 (X-ray Photoelectron Spectroscopy: XPS) などの周知の表面分析方法により測定することができる。

#### 【0035】

電極接合層のITO電極層との境界近傍における  $I_n$  濃度は、 $I_n$  と  $Ga$  との合計濃度に対する  $I_n$  の原子比にて、0.1以上0.6以下とされることが望ましく、上記の熱処理もこのような  $I_n$  濃度が得られるように行なうことが望ましい。上記定義による  $I_n$  濃度が0.1未満になると、電極接合層の接触抵抗低減効果が不十分となり、0.6を超えると電極接合層と発光層部との格子不整合による、発光強度低下などの品質劣化が甚だしくなる。なお、電極接合層のITO電極層との境界近傍における  $I_n$  濃度が、 $I_n$  と  $Ga$  との合計濃度に対する  $I_n$  の原子比にて、例えば前述の望ましい値 (0.1以上0.6以下) を確保できるのであれば、電極接合層の、ITO電極層に面しているのと反対側の境界近傍での  $I_n$  濃度  $C_B$  がゼロとなっていること、つまり、図10に示すように、電極接合層のITO電極層側に  $I_nGaAs$  層が形成され、反対側の部分が  $GaAs$  層となる構造となっても差し支えない。

#### 【0036】

ITOは、前述の通り酸化スズをドーパした酸化インジウム膜であり、ITO電極層を  $GaAs$  層上に形成し、さらにこれを適正な温度範囲にて熱処理するこ

とにより、上記望ましい In 濃度を有した電極接合層を容易に形成できる。また、この熱処理により、ITO 電極層の電気抵抗率をさらに低減できる。この熱処理は、電極接合層内の In 濃度が過剰とならないよう、なるべく低温で短時間に行なうことが望ましい。

#### 【0037】

上記 In 拡散の熱処理は、600℃以上750℃以下に行なうことが望ましい。熱処理温度が750℃を超えるとGaAs層へのInの拡散速度が大きくなりすぎ、電極接合層中のIn濃度が過剰となりやすくなる。また、In濃度が飽和して、電極接合層の厚さ方向に傾斜したIn濃度分布も得にくくなる。いずれも、電極接合層とボンディング側半導体層との格子整合が悪化することにつながる。また、GaAs層へのInの拡散が過度に進みすぎると、電極接合層との接触部付近にてITO電極層のInが枯渇し、電極の電気抵抗値の上昇が避けがたくなる。さらに、熱処理温度が750℃を超えて高温になりすぎると、ITOの酸素がGaAs層へ拡散して酸化が促進され、素子の直列抵抗が上昇しやすくなる。いずれも適正な電圧で発光素子を駆動できなくなる不具合につながる。また、熱処理温度が極端に高くなると、ITO電極層の導電率がかえって損なわれる場合がある。他方、熱処理温度が600℃未満になると、GaAs層へのInの拡散速度が小さくなりすぎ、接触抵抗を十分に低下させた電極接合層を得るのに非常な長時間を要するようになるので、製造能率の低下が甚だしくなる。

#### 【0038】

また、熱処理時間は、5秒以上120秒以下の短時間に設定することが望ましい。熱処理時間が120秒より長くなると、特に、熱処理温度が上限値に近い場合、GaAs層へのInの拡散量が過剰となりやすくなる（ただし、熱処理温度を低めに留める場合は、これよりも長い熱処理時間（例えば300秒程度まで）を採用することも可能である）。他方、熱処理時間が5秒未満になると、GaAs層へのInの拡散量が不足し、接触抵抗を十分に低下させた電極接合層が得にくくなる。

#### 【0039】

電極接合層とボンディング側半導体層（電極接合層と接する部分：クッション

層か第二導電型クラッド層のいずれかである)との接触抵抗は、発光素子の通電を長時間継続しても低い値に安定的に維持されること、つまり、接触抵抗の経時的な増大が生じにくくなっていることが重要である。接触抵抗の低減を図る一つの方法としては、電極接合層にボンディング側半導体層と同じ導電型のドーパントを添加することが有効である。この場合、電極接合層へのドーパント添加量が高くなるほど、接触抵抗をより低くすることができる。なお、電極接合層からボンディング側半導体層へドーパント拡散が比較的生じやすくなっている場合には、電極接合層のドーパント添加量がボンディング側半導体層よりも過度に高くなっていると、発光通電時において電極接合層からボンディング側半導体層へのドーパント拡散が電氣的に促進されやすくなることがあり、電極接合層のドーパント量が次第に枯渇する場合がある。すると、発光通電を継続するに伴い電極接合層の接触抵抗が経時的に増加し、素子ライフの低下を招くことにつながる。

#### 【0040】

このような不具合を抑制するには、電極接合層中のドーパント濃度をボンディング側半導体層よりも高く設定しつつ、電極接合層を構成する半導体として、これと接するボンディング側半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さいものを使用することが望ましい。電極接合層側のバンドギャップエネルギーをボンディング側半導体層よりも小さく設定することにより、電極接合層中のドーパント濃度をある程度高くしても、ボンディング側半導体層へのドーパント原子の拡散が生じにくくなり、電極接合層の接触抵抗が経時的に増加することを効果的に抑制することができる。

#### 【0041】

例えば、酸化物透明電極層がITO電極層の場合、電極接合層は、少なくともITO電極層との接合界面において、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 < x \leq 1$ ) となっているものを使用することが望ましい。この場合、ボンディング側半導体層との接合側において電極接合層は $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  ( $0 \leq x \leq 1$ ) とすることができ、ボンディング側半導体層は、これよりもバンドギャップエネルギーの大きい半導体として、例えば $\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$  ( $0 < y \leq 1$ ) により構成することができる。ボンディング側半導体層は、この他、電極接合層よりもバンドギ

ギャップエネルギーが高くなるように混晶比が調整されたGaInP層、AlGaInP層、GaP層、GaAsP層あるいはAlGaAsP層により構成することも可能である。

#### 【0042】

また、電極接合層のドーパント濃度自体を下げることにより、ボンディング側半導体層への拡散を抑制する方法も可能である。この場合、電極接合層のドーパント濃度は、ボンディング側半導体層と同じか又はそれよりも低いことが望ましい。また、電極接合層は、低ドーピングであつても酸化物透明電極層とのコンタクト抵抗が十分低くなり、かつ、ボンディング側半導体層との接触抵抗も同様に低くなっていることが必要であり、具体的には、ボンディング側半導体層との間に極端に高いヘテロ接合障壁が形成されないものを使用することが望ましい。例えば、電極接合層を、ITO層側からInを拡散させたGaAsにて構成する場合、ボンディング側半導体層を、InAs混晶比 $y$ が比較的小さい $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{As}$ （例えば、 $0 \leq y \leq 0.2$ ）にて構成する組合せを例示できる。

#### 【0043】

次に、ボンディング側半導体層の電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し前記電極接合層と反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とすることもできる。ボンディング側半導体層と電極接合層とのバンド端不連続値が大きい場合は、図11に示すように、接合によるバンドの曲がりにより、形成されるヘテロ障壁の高さ $\Delta E$ が大きくなり、コンタクト抵抗の増大につながる。そこで、図12に示すように、上記のような中間層を挿入すると、電極接合層と中間層、及び中間層とこれに接するボンディング側半導体層部分とのそれぞれはバンド端不連続値が小さくなるので、各々形成される障壁高さ $\Delta E$ も小さくなる。その結果、直列抵抗が軽減されて、低い駆動電圧にて十分に高い発光強度を達成することが可能となる。なお、本明細書において電極接合層はボンディング側半導体層に属さず、中間層はボンディング側半導体層に属するものとして定義する。

#### 【0044】

ボンディング側半導体層が、該中間層と接する領域までAlGaInPよりなる第二導電型クラッド層となっている場合は、電極接合層との中間のバンドギャップエネルギーを有する中間層として、具体的には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）の少なくとも一つを含むものを好適に採用することができ、例えばAlGaAs層を含むものとして形成することができる。他方、該中間層と同様の組成のクッション層が設けられる場合は、中間層の役割をこのクッション層に委ねることで、中間層を特に設けず、電極接合層をクッション層に接するように配置する構成も十分採用可能である。

#### 【0045】

なお、電極接合層を酸化物透明電極層の素子側への接合面全面を被覆するように形成すると、ワイヤ接合用のボンディングパッドの直下領域でも酸化物透明電極層の接触抵抗が改善される結果、駆動電流ひいては発光が該領域に集中しやすくなり、発生した光の多くがボンディングパッドにより遮蔽されて光取出効率の低下を招く場合がある。そこで、電極接合層は、ボンディングパッドの直下領域からなる第一領域において周囲の第二領域よりも形成面積率が小さくなっていることが望ましい。なお、各領域の電極接合層の形成面積率とは、領域中の電極接合層の合計面積を、領域の全面積により割った比率をいう。このように構成すると、第一領域における酸化物透明電極層の接触抵抗が増大する。その結果、発光素子の駆動電流は、第一領域を迂回して第二領域に流れる成分が大きくなり、光取出効率を大幅に高めることができる。なお、光取り出し量が少ない第一領域にはなるべく発光駆動電流が流れないことが光取出効率向上の観点においては望ましい。従って、第一領域には電極接合層が可及的に形成されていないことが望ましい。

#### 【0046】

電流拡散効果を高めるために電流拡散層を厚く形成した従来の発光素子においては、ボンディングパッドの直下領域外に電流を迂回させるために、電流拡散層中に逆の導電型を有するブロック層を埋め込み形成していたが、素子構造が複雑化し、製造工数も増大する欠点がある。しかし、上記構成によると、ボンディン

ゲパッド直下の第一領域において電極接合層の形成を抑制することで、その外側の領域、すなわち第二領域への電流迂回効果を簡単に達成することができる。また、酸化物透明電極層の下側に形成されているのは、シート抵抗の低いクッション層であるから、第二領域へ迂回した形で流れ込んだ電流が、クッション層内で第一領域側へ逆流する不具合も生じにくい。

#### 【0047】

次に、上記本発明の発光素子の第一において、酸化物透明電極層がITO電極層である場合、以下のような構成が可能である。すなわち、ボンディング側半導体層を、少なくとも電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に位置する第二層とを有してなるものとする。そして、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域を、リンを含有したリン含有化合物半導体層とし、他方、第一層が電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とする。

#### 【0048】

また、本発明の発光素子の第二は、

第一導電型クラッド層、活性層及び第二導電型クラッド層がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部を有し、第二導電型クラッド層の主表面を覆うITO透明電極層を介して発光層部に発光駆動電圧を印加するようにした発光素子において、

ITO電極層上に金属製のボンディングパッドが配置され、該ボンディングパッドに通電用の電極ワイヤが接合されてなり、

ITO電極層の接合抵抗を減ずるための化合物半導体よりなる電極接合層が、該酸化物透明電極層に接するように配置されてなり、

さらに、活性層と電極接合層との間に位置する第二導電型クラッド層を含む化合物半導体層をボンディング側半導体層として、該ボンディング側化合物半導体層は、厚さが $0.6\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 未満とされ、かつ、少なくとも電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に位置する第二層とを有してなり、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域がリンを含有したリン含有化合物半導体層とされ、他方、第一層が電極接合層よりもバンドギャップエネルギー



ギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とされたことを特徴とする。

#### 【0049】

本発明者らが検討したところによると、酸化物透明電極層がITO電極層として形成されている場合、ITO電極層の下側に位置するボンディング側半導体層のうち、電極接合層と接している部分の化合物半導体がリンを含む化合物半導体、特に、リンをIII族元素の主体とするIII-V族化合物半導体である場合に、形成したITO電極層とボンディング側半導体層との密着力が低下しやすいことが判明した。

#### 【0050】

前述の通り電極接合層は、発光波長に対応するエネルギーよりもバンドギャップエネルギーが小さく設定されるため、発光層部からの光吸収を避けるため、3～30nm程度の小さな膜厚で形成される。この場合、ボンディング側半導体層のうち電極接合層と接している部分が、GaPなどのリンを含有した化合物半導体にて構成されていると、ITO電極層の成膜中の熱履歴や、ITO電極層成膜後の熱処理（例えば、ITO層からGaAs層へのIn拡散により、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層を形成する場合の、拡散熱処理）の影響により、上記リンを含有した化合物半導体からP成分が、薄い電極接合層を通過してITO層側に拡散し、これが原因となってITO電極層の密着力が低下することが考えられる。

#### 【0051】

そこで、上記の構成では、ボンディング側半導体層を、電極接合層との境界を含む第一層と、該第一層と活性層との間に位置する第二層とを有するものとし、さらに、第二層の少なくとも第一層との境界を含む領域を、リンを含有したリン含有化合物半導体層として構成する場合に、これと接する第一層を、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きく、かつリンの含有率がリン含有化合物半導体層よりも低いリンブロック層とする。リンブロック層は、電極接合層よりもバンドギャップエネルギーが大きいため、発光層部からの発光光束に対する吸収は電極接合層より小さい。そして、電極接合層と反対側に位置するリン含有化

化合物半導体層よりはリンの含有率を低く設定してあるので、ITO電極層側に向けたリン拡散は生じにくい。従って、このようなリンブロック層を介挿することにより、リン含有化合物半導体層からのリン成分は、リンブロック層と電極接合層との双方を通過しなければ、ITO電極層に到達することができなくなる。その結果、ITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ITO電極層の密着強度を向上させることができ、本発明の第二の課題が解決される。また、ボンディング側半導体層の全厚さは $0.6\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 未満に設定してあるので、ボンディングパッドに電極ワイヤを接合する際に損傷領域が仮に生じても、該損傷領域の影響が活性層に及びにくい。

#### 【0052】

リンブロック層はリンを含有しない化合物半導体により構成することが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果を高める上でより望ましい。また、リンブロック層は、具体的にはAlGaAsにて構成することが、ITO電極層に向けたリン拡散の抑制と、発光層部からの発光光束に対する吸収抑制の双方の観点において望ましい。AlGaAsは、AlAsとGaAsとの混晶であり、AlAs混晶比を $b$ とすると、 $\text{Al}_b\text{Ga}_{1-b}\text{As}$ と表され、活性層よりもバンドギャップエネルギーが大きくなるように、その混晶比 $b$ が適宜調整される（従って、活性層の材質によって $b$ の値は異なる）。この場合、活性層のバンドギャップエネルギーよりも、AlGaAsよりなるリンブロック層のバンドギャップエネルギーは、光吸収が生じないように、最低でも $0.1\text{eV}$ 以上は大きくすることが望ましい。他方、耐湿性確保を考慮して、AlGaAsよりなるリンブロック層のAlAs混晶比 $b$ は、 $0.85$ 以下の範囲で調整することが望ましい。

#### 【0053】

また、ITO層へのリン拡散抑制効果を顕著なものとするためには、リンブロック層と電極接合層との合計厚さを $20\text{nm}$ 以上に調整することが望ましい。該合計厚さが $20\text{nm}$ 未満では、リン拡散抑制効果が顕著でなくなるので望ましくない。

#### 【0054】

リンブロック層は、ボンディング側半導体層の構成に応じて種々の形態に形成

できる。例えば、ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体によりリン含有化合物半導体層として構成された補助化合物半導体層と、該補助化合物半導体層と電極接合層との間に配置されたリンブロック層とからなるものとして構成できる。補助化合物半導体層の介在により、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響が活性層に及びにくくすることができる。また、この補助化合物半導体層がリン含有化合物半導体層として構成されているにもかかわらず、リンブロック層の介在によりITO電極層へのリン拡散が大幅に抑制され、ITO電極層の密着強度を高めることができる。この場合、該補助化合物半導体層は、例えば可視光に対する透明性が高いGaPにて構成すると、光取出し効率を高めることができる。

#### 【0055】

この場合、ボンディング側半導体層の電極接合層との境界を含む部分を、該部分に対し電極接合層と反対側から接するボンディング側半導体層部分よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層とすることができる。図11及び図12を用いて既に説明した通り、このような中間層を設けることで、素子の直列抵抗を低減することができる。そして、該中間層をリンブロック層としても機能するものとして構成しておけば、リン含有化合物半導体層となっているボンディング側半導体層部分からの、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。特に、発光層部がAlGaInP似て構成される場合、既に例示した中間層の材質のうち、リンブロック層としても好適なものはAlGaAsである。

#### 【0056】

また、ボンディング側半導体層は、第二導電型クラッド層と、該第二導電型クラッド層の酸化物透明電極層側に接して配置され、第二導電型クラッド層とは異なる組成の化合物半導体によりリンブロック層として構成された補助化合物半導体層とからなるものとしても構成できる。この場合、該補助化合物半導体層に電極接合層が接して配置される。この場合も補助化合物半導体層の介在により、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくすることができる。

る。そして、該構成では、補助化合物半導体層自体をリンブロック層として構成することで、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。このような補助化合物半導体層は、具体的にはAlGaAsにて構成することができる。

#### 【0057】

以上説明した補助化合物半導体層は、第二導電型クラッド層よりも低いドーパント濃度の化合物半導体よりなるクッション層とすることができる。これにより、第二導電型クラッド層内へのドーパント原子の流入が抑制され、素子ライフの向上を図る効果も両立できる。また、補助化合物半導体層は、第二導電型クラッド層よりも高いドーパント濃度の化合物半導体層、例えば電流拡散層とすることも可能である（ただし、本発明の第二の構成のみ）。この場合、素子ライフの向上効果については期待できないが、ITO電極層へのリン拡散抑制効果は問題なく達成することができる。

#### 【0058】

また、ボンディング側半導体層は、前述の通り、厚さが $0.6\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 未満の第二導電型クラッド層を有するものとしても構成できる。そして、該第二導電型クラッド層をリン含有化合物半導体層として構成する場合、該第二導電型クラッド層と接する形でリンブロック層が配置することができる。第二導電型クラッド層を上記のように十分厚く構成することにより、電極ワイヤを接合時に生ずる損傷領域の影響を活性層に及びにくくすることができる。そして、該第二導電型クラッド層と電極接合層との間にリンブロック層を介在させることにより、ITO電極層へのリン拡散抑制効果も同時に達成される。

#### 【0059】

この場合も、リンブロック層は、第二導電型クラッド層よりもバンドギャップエネルギーが小さく、電極接合層よりはバンドギャップエネルギーが大きい中間層としておけば、素子の直列抵抗を軽減できる。具体的には、第二導電型クラッド層がAlGaInPよりなり、中間層がAlGaAsよりなる構成を例示できる。

#### 【0060】

#### 【発明の実施の形態】

図1は、本発明の一実施形態である発光素子100を示す概念図である。発光素子100は、n型GaAs単結晶基板（以下、単に「基板」ともいう）7の一方の主表面上に、n型GaAsバッファ層2を介してAlGaInPよりなる発光層部24を形成し、該発光層部24を覆うように、p型のクッション層20と、酸化物透明電極層としてのITO電極層30とをこの順序で形成したものである。さらに、ITO電極層30のほぼ中央部には、Au等にて構成されたボンディングパッド9が配置され、ここにAu等で構成された電極ワイヤ47が接合されている。他方、基板7の他方の主表面側には、Au-Ge-Ni合金等の金属からなる裏面電極層15が全面に形成されている。

#### 【0061】

発光層部24は、各々 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ 混晶とされるときに、第一導電型クラッド層4、第二導電型クラッド層6、及び第一導電型クラッド層4と第二導電型クラッド層6との間に位置する活性層5からなるダブルヘテロ構造とされている。具体的には、ノンドープ $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ （ただし、 $0 \leq x \leq 0.55$ 、 $0.45 \leq y \leq 0.55$ ）混晶からなる活性層5を、p型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ クラッド層6とn型 $(Al_xGa_{1-x})_yIn_{1-y}P$ クラッド層4とにより挟んだ構造となっている。図1の発光素子100では、クッション層20側にp型AlGaInPクラッド層6（p型ドーパントはZn；有機金属分子からのCもp型ドーパントとして寄与しうる）が配置されており、裏面電極層15側にn型AlGaInPクラッド層4（n型ドーパントはSi）が配置されている。なお、当業者には自明のことであるが、ここでいう「ノンドープ」とは、「ドーパントの積極添加を行なわない」との意味であり、通常の製造工程上、不可避免的に混入するドーパント成分の含有（例えば $10^{13} \sim 10^{16} / \text{cm}^3$ 程度を上限とする）をも排除するものではない。

#### 【0062】

p型AlGaInPクラッド層6は、p型キャリア濃度（多数キャリア濃度）は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満、望ましくは、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上 $7 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下である。また、クッション層20

は、本実施形態では Zn を p 型ドーパントとして添加した AlGaAs 層（例えば  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{As}$  において、 $x=0.7$  程度）よりなり、p 型ドーパント濃度は、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以下、望ましくは  $9 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $6 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  以下の範囲内で、p 型 AlGaInP クラッド層 6 よりも小さく設定されている。該クッション層 20 の厚さ  $t_2$  は  $0.1 \mu\text{m}$  以上  $5 \mu\text{m}$  以下、望ましくは  $0.5 \mu\text{m}$  以上  $3 \mu\text{m}$  以下である。p 型 AlGaInP クラッド層 6 とクッション層 20 とはボンディング側半導体層 60 を構成し、その厚さ  $t_1$ （つまり、p 型 AlGaInP クラッド層 6 とクッション層 20 との合計厚さ）は  $0.6 \mu\text{m}$  以上  $10 \mu\text{m}$  未満である。

### 【0063】

以下、図 1 の発光素子 100 の製造方法について説明する。

まず、図 1 に示すように、GaAs 単結晶基板 7 の第一主表面に、n 型 GaAs バッファ層 2 を、次いで発光層部 24 として、n 型 AlGaInP クラッド層 4、AlGaInP 活性層 5、及び p 型 AlGaInP クラッド層 6（以上図 1 参照）、さらに AlGaAs よりなるクッション層 20 をこの順序にエピタキシャル成長させ、図 2（a）の状態とする。これら各層のエピタキシャル成長は、公知の有機金属気相エピタキシャル成長（Metalorganic Vapor Phase Epitaxy: MOVPE）法により行なうことができる。Al、Ga、In、P 及び As の各成分源となる原料ガスとしては以下のようなものを使用できる；

- ・ Al 源ガス；トリメチルアルミニウム（TMA1）、トリエチルアルミニウム（TEA1）など；
- ・ Ga 源ガス；トリメチルガリウム（TMGa）、トリエチルガリウム（TEGa）など；
- ・ In 源ガス；トリメチルインジウム（TMIn）、トリエチルインジウム（TEIn）など。
- ・ P 源ガス；ターシャルブチルホスフィン（TBP）、ホスフィン（ $\text{PH}_3$ ）など。
- ・ As 源ガス；ターシャルブチルアルシン（TBA）、アルシン（ $\text{AsH}_3$ ）など。

## 【0064】

また、ドーパントガスとしては、以下のようなものを使用できる；

(p型ドーパント)

- ・Mg源：ビスシクロペンタジエニルマグネシウム ( $Cp_2Mg$ ) など。
- ・Zn源：ジメチル亜鉛 (DMZn)、ジエチル亜鉛 (DEZn) など。

(n型ドーパント)

- ・Si源：モノシランなどのシリコン水素化物など。

## 【0065】

上記各層の成長は、原料ガスの切り替えにより、同一の気相成長装置内で連続的に行なうことができる。また、各層のドーパント濃度は、原料ガスに対するドーパントガスの供給比率により、所望の値に調整することができる。

## 【0066】

次に、図2 (b) に示すように、クッション層20を覆うように、公知の高周波スパッタリング法により、ITOよりなるITO電極層30を形成する。また、図2 (c) に示すように、基板7の第二主表面に真空蒸着法により裏面電極層15を形成する。そして、図2 (d) に示すように、ITO電極層30上に、各発光素子チップに対応する領域毎にボンディングパッド9を配置し、適当な温度で電極定着用のベーキングを施すことにより、発光素子ウェーハ50が得られる。該発光素子ウェーハ50は、各発光素子チップ領域を分離するために図3 (a) に示すようにハーフダイシングされ、さらに (b) に示すようにダイシング面の加工歪をメサエッチングにより除去した後、(c) に示すスクライビングにより発光素子チップ51に分離される。そして、(d) に示すように、裏面電極層15 (図3参照) をAgペースト等の導電性ペーストを用いて支持体を兼ねた端子電極9aに固着する一方、ボンディングパッド9に電極ワイヤ47を接合 (ボンディング) し、(e) に示すように樹脂モールド52を形成することにより発光素子100が得られる。

## 【0067】

各々Auよりなるボンディングパッド9に電極ワイヤ47を接合する場合、例えば、超音波溶接 (あるいはサーモソニックボンディング) が用いられる。この

超音波溶接の衝撃応力は、ITO電極層30を経てボンディングパッド9の直下のボンディング側半導体層60に及び、結晶欠陥等の損傷領域DMを形成する。例えば、図5に示すように、ITO電極層30の直下に発光層部24が形成されていると、その損傷領域DMが発光層部24の奥深く、例えば活性層5にまで及び、発光輝度や素子ライフの低下など、特性不良につながる。しかし、本発明の発光素子においては、図4に示すように、クッション層20が介在しているため、損傷領域DMがクッション層20内に留まり、その影響が発光層部24の奥深くに及びにくいので、その分、発光輝度が損なわれる心配がない。

#### 【0068】

また、このクッション層20は、p型ドーパント濃度が $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $9 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以下の範囲内で、p型AlGaInPクラッド層6よりも小さく設定されている。これにより、発光通電を継続したときに、クッション層20からp型AlGaInPクラッド層6へのp型ドーパントの拡散の、電気的促進が生じにくくなり、素子ライフが向上する。p型AlGaInPクラッド層6のp型ドーパント濃度は、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満であり、ボンディング側半導体層60全体で見た場合、 $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ 以上 $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 未満の範囲に収まっている。

#### 【0069】

また、図6に示すように、クッション層20は、ドーパント濃度が低いのでシート抵抗は多少大きいですが、その上に導電率が非常に大きいITO電極層30が形成されているので、該ITO電極層30内にて電流を十分に拡げることができる。そして、クッション層20は、p型ドーパント濃度を前述の範囲に調整することで、層厚方向の導電性は十分に確保されているから、結果として発光層部24への均一な通電が可能となり、発光効率を高めることができる。

#### 【0070】

また、図1に示すように、ITO電極層30とクッション層20との間には、ITO電極層30と接する形で電極接合層31を形成し、ITO電極層30との接触抵抗を低減する。該電極接合層31は、ITO電極層30との境界を含む部分が少なくともInGaAsとされた化合物半導体層であり、例えば次のように



して形成することができる。すなわち、図1のクッション層20上にGaAs層を形成して、さらにこれをITO電極層30で覆い、その状態で炉の中に配置して、例えば窒素雰囲気中あるいはAr等の不活性ガス雰囲気中にて、600℃以上750℃以下（例えば700℃）の低温で、5秒以上120秒以下（例えば30秒）の短時間の熱処理を施す。これにより、ITO電極層20からGaAs層にInが拡散し、電極接合層31（図1）が得られる。該熱処理により電極接合層31は、図9①において、ITO電極層との境界近傍におけるIn濃度 $C_A$ が、InとGaとの合計濃度に対するInの原子比にて、0.1以上0.6以下となる。また、In濃度は、ITO電極層20から厚さ方向に遠ざかるにつれ連続的に減少するものとなり、ITO電極層20との境界近傍におけるIn濃度を $C_A$ とし、これと反対側の境界位置におけるIn濃度を $C_B$ としたとき、 $C_B/C_A$ が0.8以下となるように調整される。該電極接合層31は、これと接するボンディング側半導体層部分、すなわち、クッション層20がAlGaAsにて構成されることも考慮し、接触抵抗を低減するために、p型ドーパント濃度が高く（例えば $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 程度）設定されている。

#### 【0071】

また、ボンディングパッド9は発光層部24からの光の大部分を遮蔽するため、発光層部24においてボンディングパッド9の直下領域、つまり光取り出し量が少ない第一領域に通電電流が集中しないこと、むしろ、ボンディングパッド9の周囲の光取り出し量が多い第二領域に通電電流がなるべく多く分配されることが、光取出効率を高める上で望ましい。そこで、図1の実施形態では、電極接合層31は、ボンディングパッド9の直下領域をなす光取り出し量が少ない第一領域には形成されず、その周囲の光取り出し量が多い第二領域にのみ選択的に形成されている。ボンディングパッド9の直下領域において電極接合層31を作為的に非形成とすることで、この領域ではITO電極層30の接触抵抗が高くなり電流が流れにくくなる。その結果、図6に示すように、ITO電極層30を介して発光層部24に通電される電流は、光取り出し量が少ない第一領域を迂回して光取り出し量が多い第二領域に優先的に分配され、光取出効率を高めることができる。

## 【0072】

なお、図7に示すように、第二領域に形成する電極接合層31は、形成領域と非形成領域とを混在させることができる。また、光取り出し量が多い第二領域において電極接合層31の形成領域と非形成領域とを混在させることにより、発光層部24で生じた光は電極接合層31を透過する経路と、非形成領域において電極接合層31を迂回する経路との2通りの経路にて取り出される。このうち、後者においては、電極接合層31を透過する際の光吸収を生じないので、光取出効率を向上させることができる。

## 【0073】

図7(a)～(c)に示すように、電極接合層31の形成領域は、ITO電極層30の接合界面において分散形成することにより、発光層部24における発光をより均一化し、かつ電極接合層31の非形成領域からより均一に光を取り出すことができる。図7(a)は電極接合層31の形成領域を散点状とした例であり、(b)は細長い帯状の電極接合層31の形成領域と非形成領域とを交互に形成した例である。さらに、(c)は、(a)とは逆に、電極接合層31の形成領域を背景として、散点状の非形成領域をこれに分散形成した例である。ここでは電極接合層31の形成領域を格子状に形成している。特に、正方形換算にて一辺が $400\mu\text{m}$ 以上の大面積の発光素子の場合、均一な面発光を可能とするため、ボンディングパッド9以外の領域の全面積に対して、電極接合層31の形成領域の面積比率を10%以上(100%含む)とすることが望ましい。また、ボンディングパッド9の被覆面積率が1%以上10%以下とすることが、光取出し効率を向上させる観点において望ましい。

## 【0074】

また、図8に示すように、ボンディング側化合物半導体層60の、中間層32を除いた部分の全体を、p型AlGaInPクラッド層(第二導電型クラッド層)6として構成することも可能である。この場合、p型AlGaInPクラッド層6の厚さ $t_1$ を $0.6\mu\text{m}$ 以上 $10\mu\text{m}$ 未満とし、そのp型ドーパント濃度を $4\times 10^{16}/\text{cm}^3$ 以上 $1\times 10^{18}/\text{cm}^3$ 未満に調整する。

## 【0075】

この場合、n型AlGaInPクラッド層4は、電極ワイヤ47の接合による損傷の影響がほとんど及ばないため、その厚さ $t_3$ はp型AlGaInPクラッド層6の厚さ $t_1$ より小さく設定することができる。また、この態様においても、図1と同様に、ITO電極層30と接する電極接合層31を設ける。この場合、Inを含有したGaAsよりなる電極接合層31を、p型AlGaInPクラッド層6に直接接触させると両者の間に形成されるヘテロ障壁がやや高くなり、接触抵抗の増大を招くことがある。そこで、電極接合層31とp型AlGaInPクラッド層6との間には、AlGaAs層、GaInP層及びAlGaInP層（バンドギャップエネルギーがクラッド層より小さくなるように組成調整されたもの）等よりなる中間層32を形成することがより望ましい。

#### 【0076】

次に、図1の発光素子においては、クッション層20をAlGaAsにて構成していたが、これをGaPにて構成することもできる（ドーパント濃度の範囲は、AlGaAsにて構成したクッション層20と同じである：また、他の層は図1の発光素子と同様に構成する）。この場合、ITO電極層30の成膜時や、電極接合層31を形成するための熱処理時に、GaPよりなるクッション層20から、電極接合層31を経てITO電極層30にリンが拡散し、ITO電極層30の電極接合層31への密着強度が低下する可能性がある。この場合、特に、図2の工程(d)に示すボンディングパッド9のフォトリソグラフィーによるパターニング処理や、図3の工程(a)のハーフダイシング、さらには工程(b)のメサエッチング時に、ITO電極層30が剥離しやすくなり、不良や歩留まり低下を招きやすくなる。

#### 【0077】

そこで、図13に示すように、GaPよりなるクッション層20と電極接合層31との間に、例えばAlGaAsよりなるリンブロック層32を介挿しておくことで、クッション層20からITO電極層30へのリンの拡散を効果的に抑制することができ、また、AlGaInPよりなる発光層部からの発光光束の吸収も生じにくい。この場合、リンブロック層32はAlGaAsにて構成されることで、前述の中間層（図12参照）としての機能も果たす。なお、リンブロック層3

2と電極接合層31との合計厚さは、20nm以上とすることが望ましい。

#### 【0078】

なお、図14に示すように、クッション層20がAlGaAsよりなる場合（すなわち、図1の構成である）は、AlGaAsよりなるクッション層20自体がリンブロック層として機能し、クッション層20からITO電極層30へのリンの拡散がそもそも生じず（当然、クッション層20は比較的厚いので、AlGaInPよりなるクラッド層6からのリン拡散も生じにくい）、また、クッション層20とは別にリンブロック層を設ける必要もないから、工程も簡略化できる。

#### 【0079】

なお、図13及び図14においては、GaPないしAlGaAsよりなるクッション層20のドーパント濃度は、クラッド層6のドーパント濃度よりも低く設定されているが、図15及び図16に示すように、これらクッション層20の代わりに、クッション層20と同程度の厚さを有した、GaPないしAlGaAsよりなる電流拡散層21を設けることもできる（電流拡散層21は、クラッド層6よりものドーパント濃度が高く設定される）。

#### 【0080】

また、図17に示すごとく、ボンディング側化合物半導体層の、中間層32を除いた部分の全体をクラッド層6として構成する場合（図8の構成である）、その中間層32をAlGaAsよりなるリンブロック層として構成することもできる。

#### 【0081】

以上の実施形態では、発光層部24の各層をAlGaInP混晶にて形成していたが、該各層（p型クラッド層6、活性層5及びn型クラッド層4）をAlGaInN混晶により形成することもできる。この場合、発光層部24を成長させるための発光層成長用基板7は、GaAs単結晶基板に代えて、例えばSiC基板が使用される。

#### 【0082】

#### 【実施例】

以下、本発明の効果を確認するために行なった実験結果について説明する。

まず、各層を以下の厚さにてMOVPE法により形成した発光素子ウェーハ50を用意した。

- ・ITO電極層30＝厚さ： $0.8\mu\text{m}$ （酸化錫含有率＝7質量%（残部は酸化インジウム）、高周波スパッタリングにて形成；

- ・電極接合層31

厚さ： $5\text{nm}$ （ただし、ボンディングパッド直下領域のみ形成せず）

GaAs層として形成し、p型ドーパントとしてのZnを、ドーパント濃度が $1\times 10^{19}/\text{cm}^3$ 程度となるように拡散。その後、ITO電極層30にて被覆し、 $700^\circ\text{C}$ で30秒熱処理した；

- ・AlGaAsクッション層20（組成：組成： $\text{Al}_{0.7}\text{Ga}_{0.3}\text{As}$ ）

Zn（p型ドーパント）濃度： $1\times 10^{17}/\text{cm}^3\sim 1\times 10^{18}/\text{cm}^3$

厚さ： $0\mu\text{m}$ 、 $0.1\mu\text{m}$ 、 $0.5\mu\text{m}$ 、 $1.5\mu\text{m}$ 、 $3\mu\text{m}$ 、 $5\mu\text{m}$ 、 $10\mu\text{m}$ ；

- ・p型AlGaInPクラッド層6（ $\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ）

Zn（p型ドーパント）濃度： $3\times 10^{17}/\text{cm}^3\sim 7\times 10^{17}/\text{cm}^3$

厚さ： $0.5\mu\text{m}$ ；

- ・AlGaInP活性層5（組成： $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ）

ノンドーパ、厚さ： $0.6\mu\text{m}$ （発光波長 $600\text{nm}$ ）；

- ・n型AlGaInPクラッド層4（組成： $\text{Al}_{0.85}\text{Ga}_{0.15}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ）

Si（n型ドーパント）濃度： $5\times 10^{17}/\text{cm}^3$ 、厚さ： $1\mu\text{m}$ 。

### 【0083】

上記発光素子ウェーハは、図2及び図3にて説明済みの工程により素子化した。なお、素子チップの大きさは $300\mu\text{m}$ 四方の正形状である。また、ボンディングパッド9はAu製であり、寸法は直径 $100\mu\text{m}$ の円状である。このボンディングパッド9にAu製電極ワイヤを、周知のサーモソニックボンディング装

置によりボンディングした。

#### 【0084】

得られた各素子は、以下の各特性を周知の方法にて測定した：

- ・発光輝度（ $I_v$ ：通電電流値を 20 mA とした）；
- ・順方向電圧（ $V_F$ ：通電電流値を 20 mA とした）。

また、通電電流を 30 mA に固定して 100 時間連続通電したときの、初期発光輝度と 100 時間通電後の発光輝度とを測定し、両者の比（%）を素子ライフとして求めた。

#### 【0085】

表 1 は、p 型クラッド層 6 の Zn（p 型ドーパント）濃度を  $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 、厚さを 0.5  $\mu\text{m}$  に設定する一方、クッション層 20 の Zn（p 型ドーパント）濃度を  $3 \times 10^{17} / \text{cm}^3$  に設定し、両者の合計であるボンディング側半導体層の厚さを 0.5 ～ 1.1  $\mu\text{m}$  の種々の値に設定したときの、発光輝度  $I_v$ 、順方向電圧  $V_F$  及び素子ライフの測定結果を示すものである。

#### 【0086】

【表 1】

ボンディング側半導体層厚さ( $\mu\text{m}$ ) (クッション層+P型クラッド層)	*0.5	0.6	1.0	2.0	3.5	3.5	*10.5
クッション層厚さ( $\mu\text{m}$ )	0	0.1	0.5	1.5	3	5	*10
I <sub>V</sub> (mCd)	62	73	83	74	77	80	81
V <sub>F</sub> (V)	1.89	1.88	1.91	1.90	1.95	1.98	2.1
素子ライフ (%)	30	80	100	100	100	100	100

\*は本発明の範囲外であることを示す。

## 【0087】

ボンディング側半導体層の厚さが0.6  $\mu\text{m}$ 以上10  $\mu\text{m}$ 未満の範囲に収まっているものは、発光輝度が高く順方向電圧も小さい。しかし、ボンディング側半

導体層の厚さが  $0.6\ \mu\text{m}$  未満になると、ボンディングパッド 9 へ電極ワイヤ 47 を接合したときの損傷が発光層部 24 に及び、発光輝度及び素子ライフの低下を招いていることがわかる。また、ボンディング側半導体層の厚さが  $10\ \mu\text{m}$  以上になると、直列抵抗増大により順方向電圧が上昇していることがわかる。

**【0088】**

表 2 は、p 型クラッド層 6 の厚さを  $0.5\ \mu\text{m}$ 、クッション層 20 の厚さを  $1\ \mu\text{m}$ （つまり、ボンディング側半導体層厚さは  $1.5\ \mu\text{m}$ ）とし、両者の Zn（p 型ドーパント）濃度を種々の組合せに設定して、それぞれ素子ライフを測定した結果を示すものである。

**【0089】**



【表 2】

クラッド層ドーパント濃度:  $3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 

クッション層ドーパント濃度( $\text{cm}^{-3}$ )	素子ライフ(%)
$1 \times 10^{17}$	100
$2 \times 10^{17}$	100
$3 \times 10^{17}$	100
$7 \times 10^{18}$	90

クラッド層ドーパント濃度:  $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 

クッション層ドーパント濃度( $\text{cm}^{-3}$ )	素子ライフ(%)
$1 \times 10^{17}$	100
$3 \times 10^{17}$	100
$5 \times 10^{17}$	95
$1 \times 10^{18}$	80

クラッド層ドーパント濃度:  $7 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 

クッション層ドーパント濃度( $\text{cm}^{-3}$ )	素子ライフ(%)
$3 \times 10^{17}$	90
$5 \times 10^{17}$	90
$7 \times 10^{17}$	85
$1 \times 10^{18}$	70
* $2 \times 10^{18}$	40

\*は本発明の範囲外であることを示す。

## 【0090】

この結果によると、クッション層20のZn (p型ドーパント) 濃度をp型クラッド層6と同等又はそれよりも小さく設定することにより、逆に設定した場合よりも素子ライフが相対的に向上していることがわかる。また、クッション層2

0 の Zn (p 型ドーパント) 濃度が  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以上になると (つまり、ボンディング側半導体層の Zn (p 型ドーパント) 濃度が  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  を超えると)、素子ライフは大幅に低下していることがわかる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明の発光素子の一実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 2】

図 1 の発光素子の製造工程の一例を示す説明図。

【図 3】

図 2 に続く説明図。

【図 4】

クッション層の第一の作用説明図。

【図 5】

クッション層を有さない発光素子における問題点を説明する図。

【図 6】

クッション層の第二の作用説明図。

【図 7】

電極接合層の形成パターンをいくつか例示して示す図。

【図 8】

本発明の発光素子の別実施形態を積層構造にて示す模式図。

【図 9】

電極接合層内の In 濃度分布の一例を模式的に示す図。

【図 10】

電極接合層内の In 濃度分布の別例を模式的に示す図。

【図 11】

中間層を形成しない場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

【図 12】

中間層を形成する場合の、電極接合層のバンド構造の例を示す模式図。

【図 13】

リンブロック層の第一の構成例を示す模式図。

【図 14】

リンブロック層の第二の構成例を示す模式図。

【図 15】

リンブロック層の第三の構成例を示す模式図。

【図 16】

リンブロック層の第四の構成例を示す模式図。

【図 17】

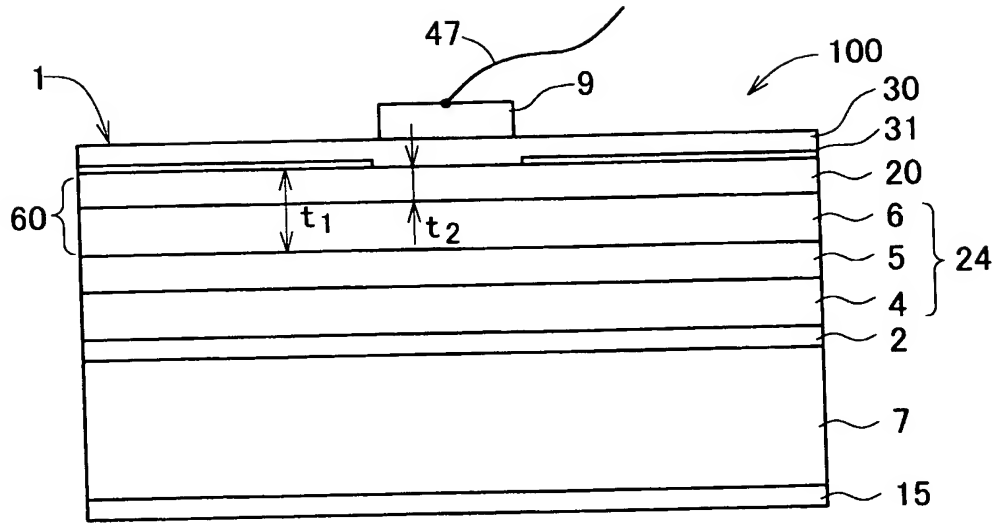
リンブロック層の第五の構成例を示す模式図。

【符号の説明】

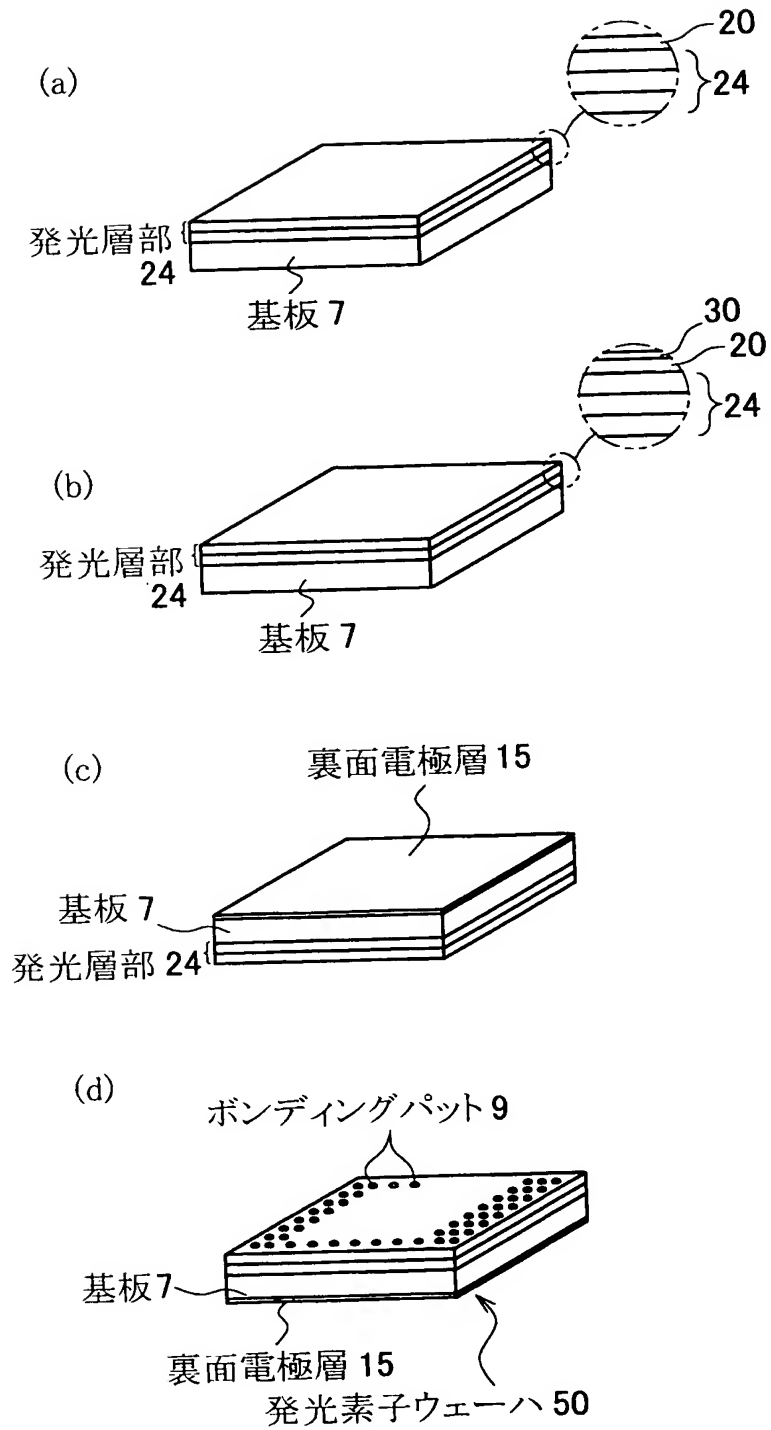
- 4 n 型クラッド層 (第一導電型クラッド層)
- 5 活性層
- 6 p 型クラッド層 (第二導電型クラッド層)
- 9 ボンディングパッド
- 24 発光層部
- 20 クッション層 (リンブロック層)
- 30 酸化物透明電極層
- 31 電極接合層
- 32 中間層 (リンブロック層)
- 60 ボンディング側半導体層
- 100 発光素子

【書類名】 図面

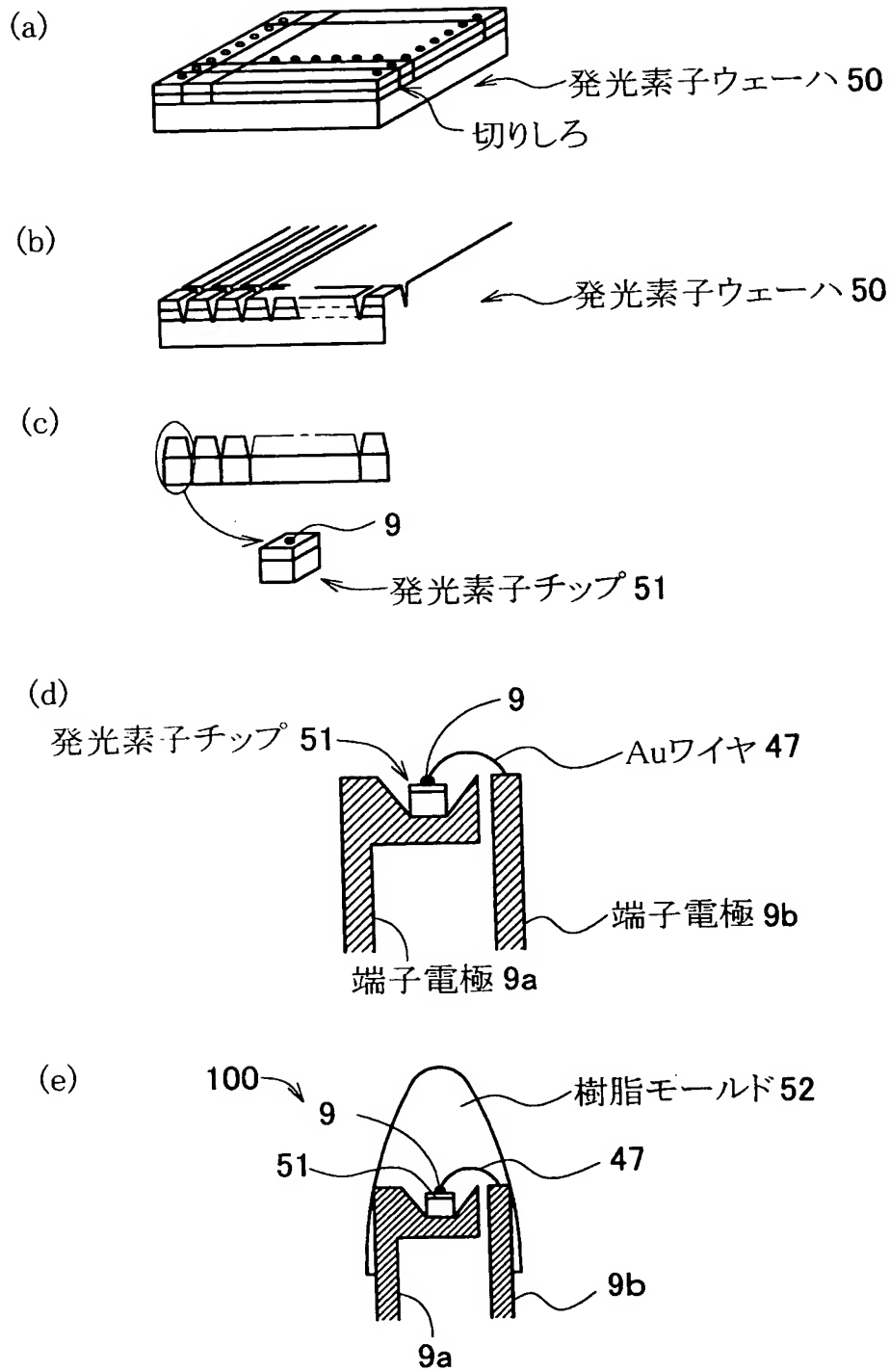
【図 1】



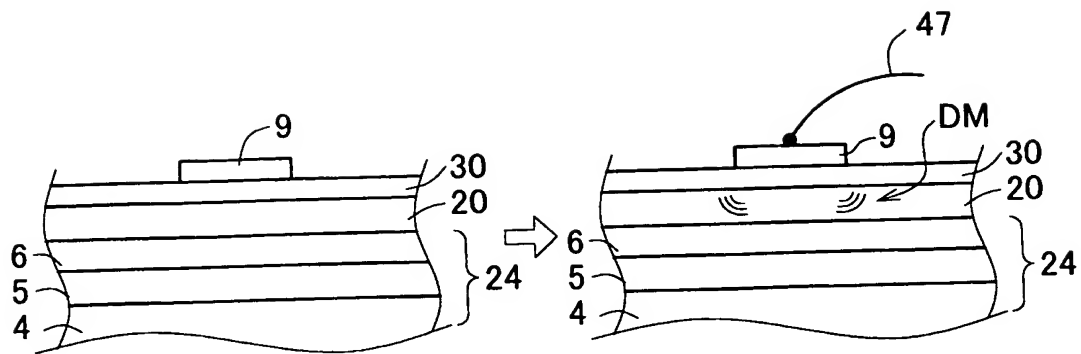
【図 2】



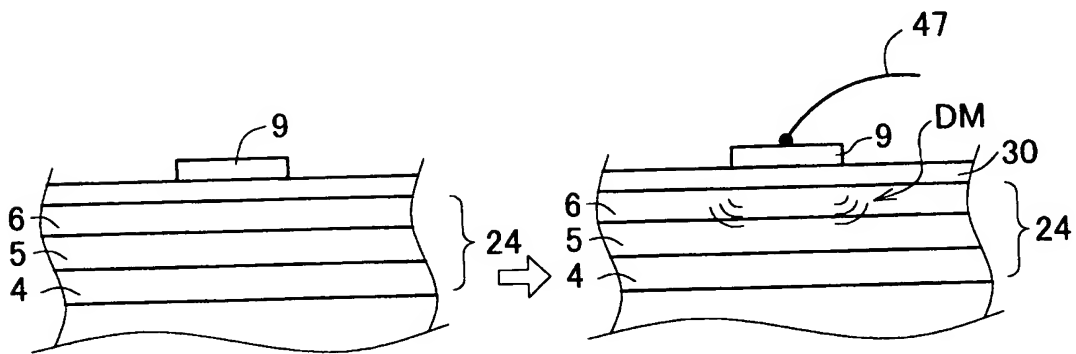
【図 3】



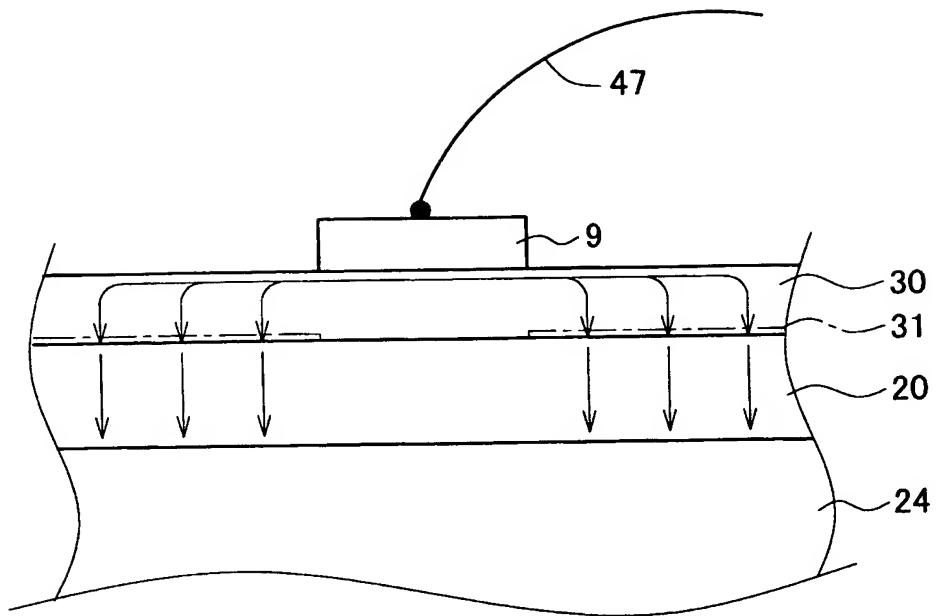
【図 4】



【図 5】

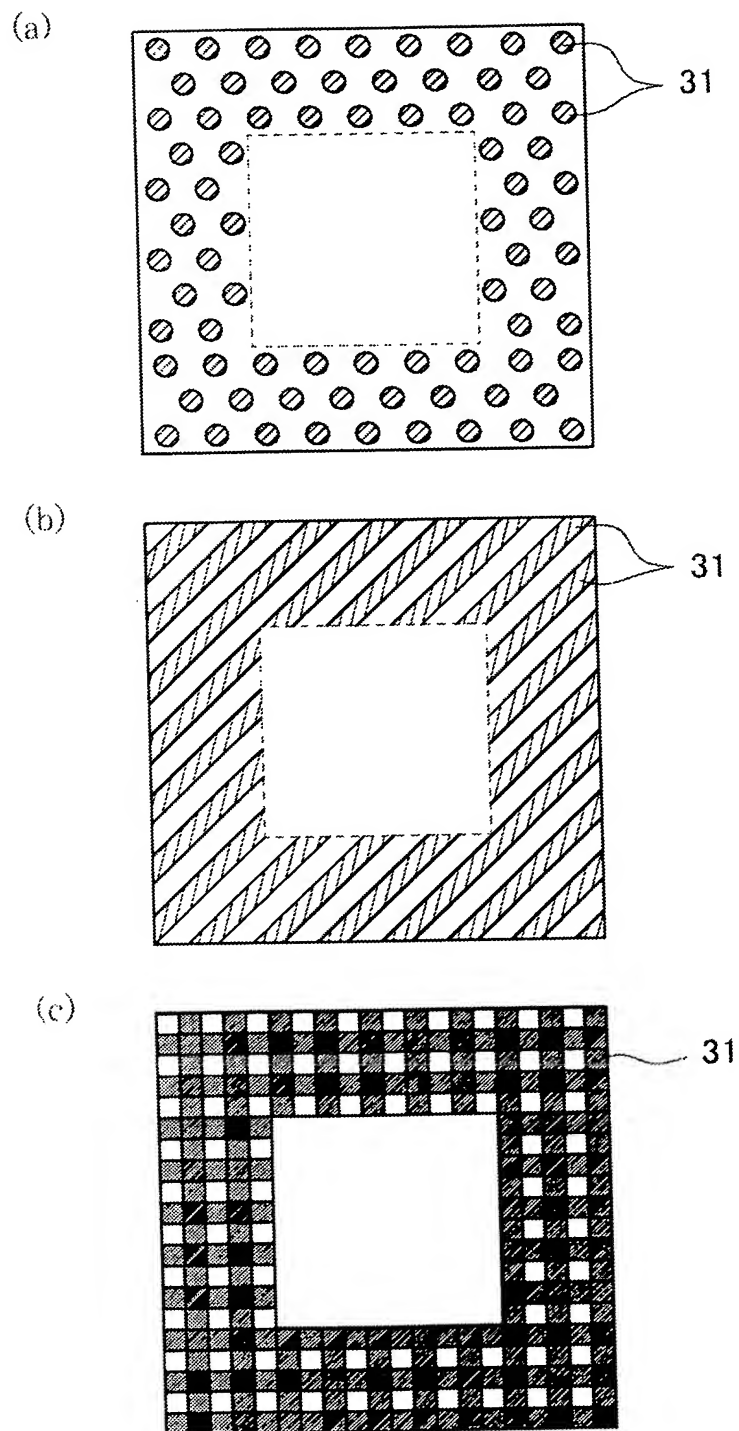


【図 6】

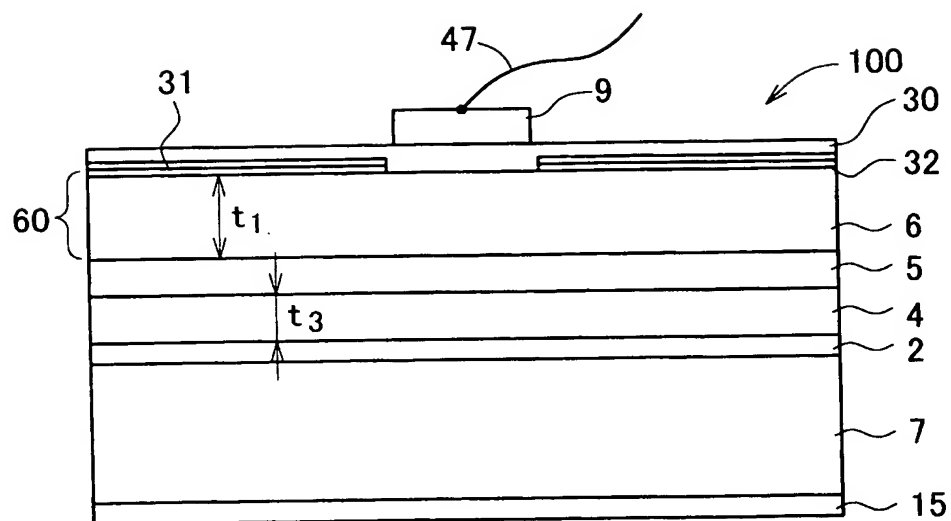




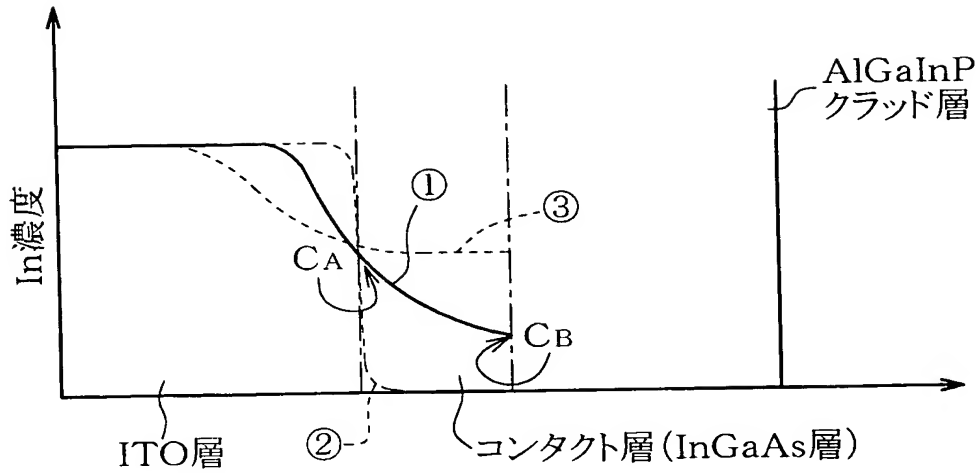
【図 7】



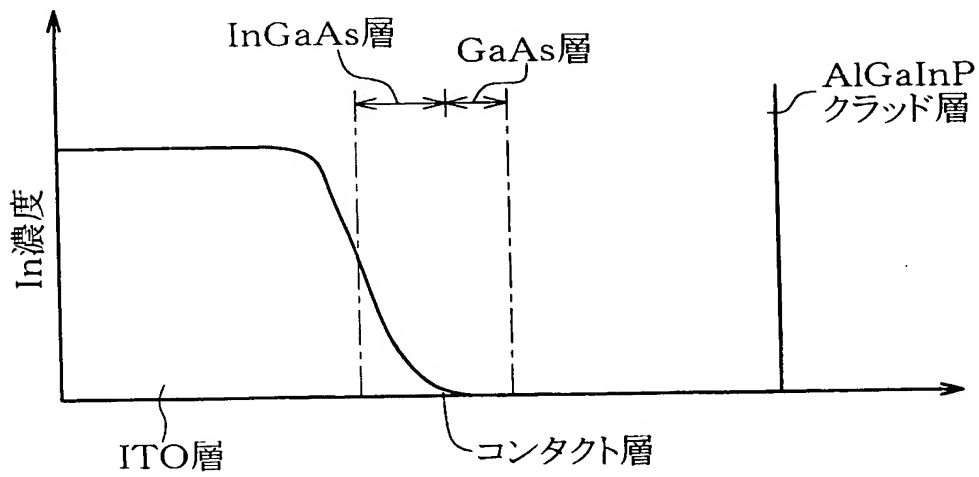
【図 8】



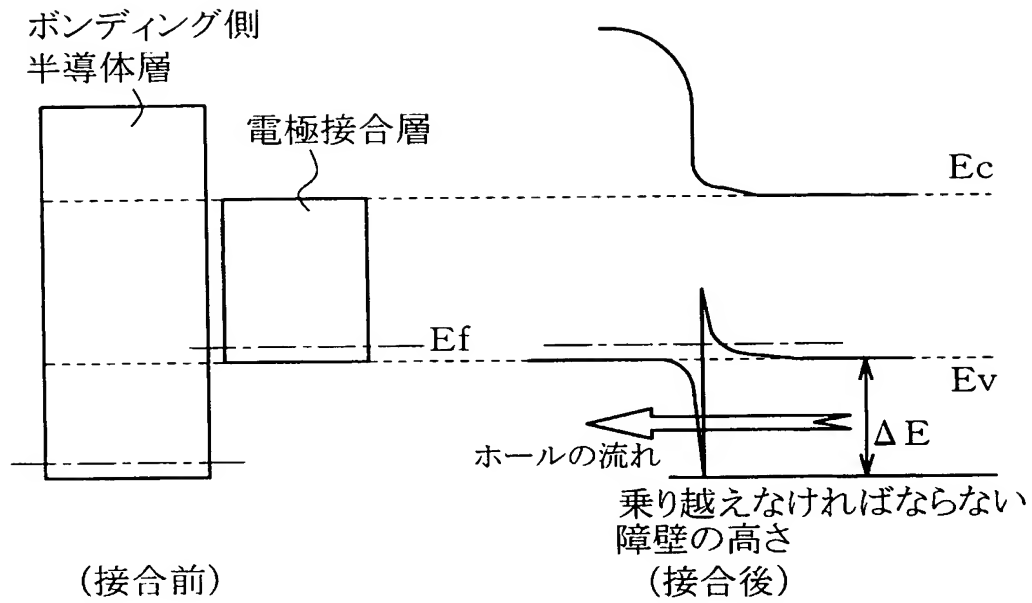
【図 9】



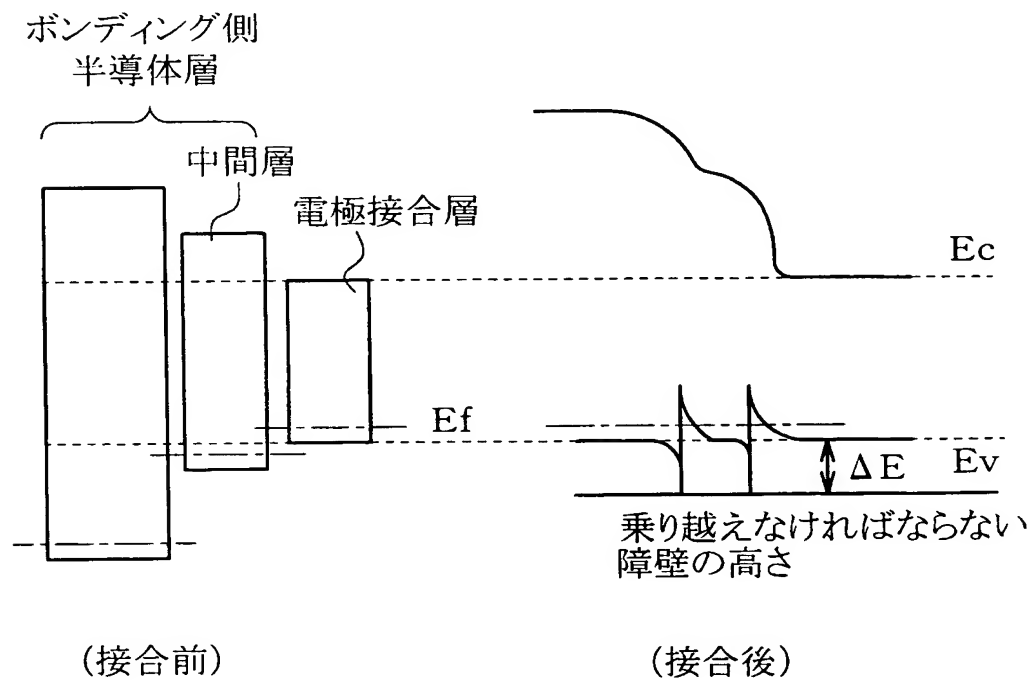
【図 10】



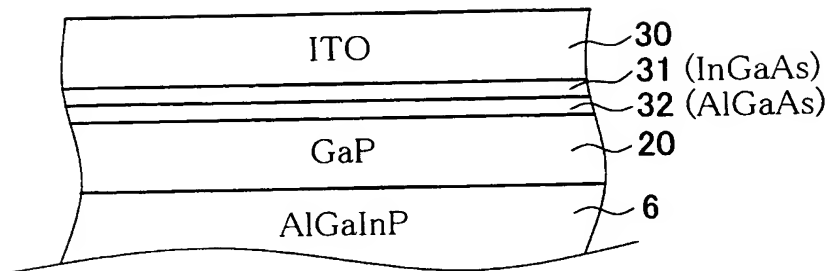
【図 1 1】



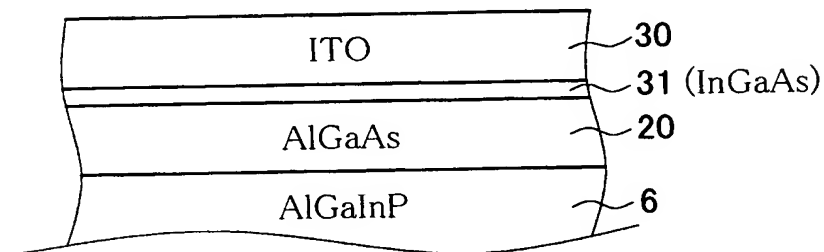
【図 1 2】



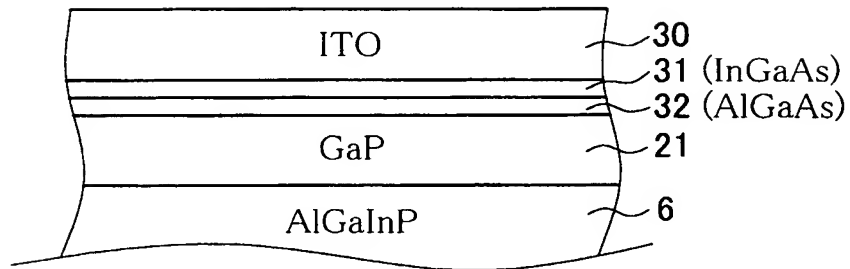
【図 13】



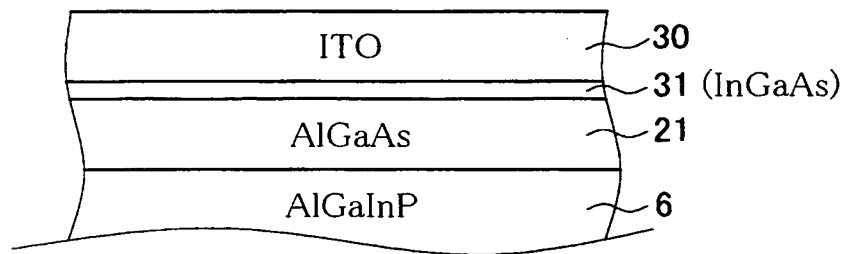
【図 14】



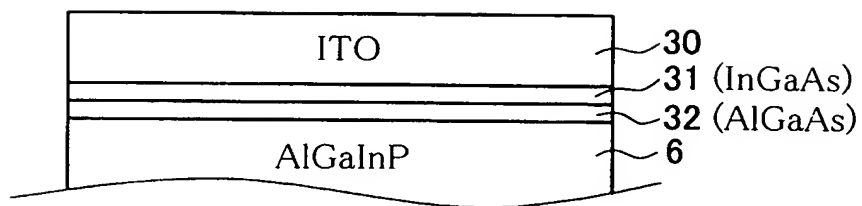
【図 15】



【図 16】



【図 17】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 酸化物透明電極層を発光駆動用の電極として有し、かつ電極ワイヤをボンディングパッドへ溶接する際の損傷の影響が発光層部に及びにくい発光素子を提供する。

【解決手段】 発光素子 100 は、第一導電型クラッド層 4、活性層 5 及び第二導電型クラッド層 6 がこの順序にて積層されたダブルヘテロ構造を有する化合物半導体よりなる発光層部 24 を有し、第二導電型クラッド層 6 の主表面を覆う酸化物透明電極層 30 を介して発光層部 24 に発光駆動電圧が印加される。酸化物透明電極層 30 上には金属製のボンディングパッド 9 が配置され、該ボンディングパッド 9 に通電用の電極ワイヤ 47 が接合されている。そして、活性層 5 と、酸化物透明電極層 30 に対する電極接合層 31 との間には、第二導電型クラッド層 6 とクッション層 20 よりなるボンディング側半導体層 60 が配置される。該ボンディング側半導体層 60 は、ドーパント濃度が  $4 \times 10^{16} / \text{cm}^3$  以上  $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下であり、かつ、厚さが  $0.6 \mu\text{m}$  以上  $10 \mu\text{m}$  以下とされる。

【選択図】 図 1



特願 2 0 0 2 - 3 4 9 2 0 5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 1 9 0 1 4 9 ]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都千代田区丸の内 1 丁目 4 番 2 号

氏 名

信越半導体株式会社



特願 2002-349205

出願人履歴情報

識別番号

[501045021]

1. 変更年月日

2001年11月 8日

[変更理由]

名称変更

住 所

東京都三鷹市下連雀3丁目38番4号

氏 名

株式会社ナノテコ

2. 変更年月日

2002年 1月25日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都三鷹市下連雀3丁目38番地4号 三鷹産業プラザ40

8

氏 名

株式会社ナノテコ